



TRABAJO DE FIN DE GRADO

EJERCICIOS EXCÉNTRICOS

EN PATOLOGÍA

MUSCULOESQUELÉTICA

Alumno: Miguel De la Iglesia Gil

Tutor: Gustavo Plaza Manzano

ÍNDICE

1. ABREVIATURAS.....	4
2. RESUMEN.....	5
3. INTRODUCCIÓN.....	6
3.1 JUSTIFICACIÓN.....	6
3.2 DEFINICIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA.....	6
3.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	9
4. METODOLOGÍA.....	10
5. DESARROLLO DEL TRABAJO.....	10
5.1 SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO.....	10
5.2 TIPOS DE TRABAJO Y CONTRACCIÓN MUSCULAR.....	13
5.3 LA CONTRACCIÓN EXCÉNTRICA.....	14
5.3.1 Tipos de ejercicios mediante contracción excéntrica.....	15
5.3.2 Propiedades de la contracción excéntrica.....	16
5.3.3 Adaptaciones inducidas por el ejercicio excéntrico.....	20
5.4 EJERCICIO EXCÉNTRICO EN PATOLOGÍA MUSCULOESQUELÉTICA.....	24
5.4.1 Ejercicio excéntrico en tendinopatía.....	25
5.5 EJERCICIOS EXCÉNTRICOS. PROPUESTA DE TRATAMIENTO.....	29
5.5.1 Consideraciones.....	29
5.5.2 Programa de ejercicios excéntricos.....	29
5.6 CONCLUSIÓN.....	31
6. BIBLIOGRAFÍA.....	32
7. ANEXOS.....	37

1. ABREVIATURAS.

- CEA: Ciclo de estiramiento-acortamiento.
- DMIE: Daño muscular inducido por el ejercicio.
- EMG: Electromiografía
- ROM: Rango de movimiento articular.
- UMT: Unión miotendinosa.

2. RESUMEN.

La patología musculoesquelética engloba numerosos trastornos del aparato locomotor, que cursan con síntomas como dolor, inflamación, pérdida de fuerza e impotencia funcional. Estas afecciones destacan por su elevada prevalencia en la población general, afectando a la calidad de vida y a la funcionalidad de las personas que las padecen. Son las patologías que mayor gasto socioeconómico suponen, ya que ocasionan gran pérdida en la productividad laboral, desarrollando costes sociales y laborales muy elevados. La mayoría de estas condiciones reciben tratamiento fisioterápico, en el que la terapia mediante los ejercicios excéntricos resulta ser un tratamiento conservador realmente eficaz, debido principalmente a sus grandes beneficios en comparación con otras técnicas de fortalecimiento. Esta modalidad de ejercicios produce elevadas sollicitaciones en la unidad músculo-tendón debido al alargamiento físico que se produce en el músculo al realizar la contracción, además, genera un menor gasto metabólico produciendo una menor tasa de fatiga muscular. Por ello, pese a ser una terapia inusual para la mayoría, y que requiere una habituación previa por parte de los pacientes para su correcta ejecución, los ejercicios excéntricos deben introducirse en un programa de fisioterapia para el tratamiento de numerosas patologías del sistema musculoesquelético.

Palabras clave: Sistema musculoesquelético, contracción muscular, ejercicio excéntrico.

ABSTRACT.

The musculoskeletal pathology includes numerous disorders of the locomotor system, which present symptoms such as pain, inflammation, loss of strength and functional impotence. These conditions are notable for their high prevalence in the general population, affecting the quality of life and the functionality of the people who suffer from them. These are the pathologies that cause the greatest socioeconomic expenditure, since they cause a great loss in labor productivity, developing very high social and labor costs. Most of these conditions receive physiotherapeutic treatment, mainly due to its great benefits in comparison with other strengthening techniques. This exercise modality produces high stresses in the muscle-tendon unit due to the physical lengthening that occurs in the muscle when performing the contraction, in addition, it generates a lower metabolic expense producing a lower rate of muscular fatigue. Therefore, despite being an unusual therapy for the majority, and that requires a previous habituation on the part of the patients for its correct execution, the eccentric exercises must be introduced in a physiotherapy program for the treatment of numerous pathologies of the musculoskeletal system.

Key words: Musculoskeletal system, muscle contraction, eccentric exercise.

3. INTRODUCCIÓN.

3.1 JUSTIFICACIÓN.

El principal aliciente que me ha llevado a la elección de este tema es profundizar en el conocimiento sobre la fisioterapia con ejercicios excéntricos, una terapia realmente eficaz pero a priori, algo menos utilizada que los ejercicios de fortalecimiento convencional. Los ejercicios excéntricos, a simple vista, más que más que un ejercicio propiamente de fortalecimiento muscular, parecen simples ejercicios en los que se produce un frenado del movimiento a realizar. Sin embargo, a pesar de tratarse de un tipo de ejercicio inusual para la mayoría de pacientes, y que necesita de un previo entrenamiento y familiarización para su correcta realización, no hay duda de que las investigaciones apoyan sus efectos en numerosas patologías del sistema musculoesquelético.

Un gran número de personas padecen trastornos del aparato locomotor, ya sea por lesiones ocasionadas en actividades deportivas, o por hábitos y costumbres que acaban produciendo daños en las estructuras corporales. La fisioterapia con ejercicios excéntricos presenta unos resultados muy favorables, no sólo en el grado de fortalecimiento e hipertrofia muscular, sino también en otros parámetros beneficiosos para la recuperación de este tipo de lesiones. Mi interés reside en conocer los efectos y características de por qué este tipo de ejercicio resulta ser una estrategia de tratamiento eficaz y de gran utilidad para el abordaje de las patologías musculoesqueléticas.

3.2 DEFINICIÓN Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA.

La patología musculoesquelética.

El término patología musculoesquelética abarca un amplio espectro de procesos patológicos, desde enfermedades inflamatorias como artritis o gota; afecciones relacionadas con la edad como la sarcopenia; trastornos de etiología variable como puede ser el dolor de espalda y la fibromialgia; así como aquellas condiciones relacionadas con la actividad tales como, trastornos ocupacionales, caídas y trauma mayor, o lesiones deportivas. En estas últimas destacan las lesiones en tendones y ligamentos, distensiones o roturas musculares, y trastornos meniscales¹. Según el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, la patología musculoesquelética, comprende las enfermedades articulares, del tejido conectivo, problemas de columna vertebral, artrosis y osteoporosis, y los reumatismos de partes blandas². Estas afecciones a su vez reciben diversas denominaciones como lesiones por movimientos repetitivos, por desgaste o sobreesfuerzo; y pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Agudas y dolorosas: Surgen por esfuerzos intensos que ocasionan un fallo funcional y estructural, pudiendo desencadenar desgarros, fracturas, distensiones, etc...
- Crónicas y duraderas: Se originan por esfuerzos permanentes que producen dolor y disfunciones crecientes, como son la tenosinovitis o las contracturas musculares.

Los síntomas más predominantes son el dolor, asociado a inflamación, pérdida de fuerza e impotencia funcional, generando una gran limitación en las actividades. A la hora de realizar un buen razonamiento clínico, es importante que los fisioterapeutas, durante su evaluación, examinen no sólo el gesto o sobreesfuerzo que provocó la lesión, sino también las tareas habituales que se desarrollan, puesto que puede tratarse de un daño acumulativo, ya que estas patologías se producen con gran frecuencia en ámbitos laborales que requieren movimientos repetitivos o malas posturas³.

Prevalencia.

Estas patologías se caracterizan por su elevada prevalencia en la población general; en Europa, afectan al menos a 100 millones de personas⁴, aproximadamente el 50% de la población europea refiere dolor musculoesquelético, en uno o varios sitios, al menos durante una semana. Según el Eurobarómetro, un tercio de las personas encuestadas (32%) señala dolor en los músculos y articulaciones hasta el punto de que éste afectó a sus actividades diarias en la semana anterior a la encuesta, y un 25% habían sufrido dolor crónico musculoesquelético limitante². Un 15-20% de las consultas en atención primaria las constituyen estas patologías, además, en la mitad de estos casos se requiere una consulta de un especialista y son enviados al hospital para que se realicen pruebas complementarias y/o tratamiento fisioterápico³. En España, según las cifras del Conjunto Mínimo Básico de Datos de 2010, las enfermedades del sistema musculoesquelético y tejido conectivo fueron el diagnóstico principal de ingreso hospitalario, con una incidencia de 41,8 ingresos por 10.000 habitantes. Además, se estima que con el aumento del envejecimiento en la población y los cambios en el estilo de vida, estas enfermedades se incrementaran en los próximos años².

Impacto Social y Económico.

Las afecciones musculoesqueléticas suelen considerarse benignas en su conjunto puesto que presentan una baja mortalidad y morbilidad (medida en nº de ingresos hospitalarios). Sin embargo, ocasionan un gran impacto en la calidad de vida y en la funcionalidad de las personas que las sufren, generando limitación en las actividades y gran pérdida en la productividad laboral, todo ello conlleva consecuencias importantes para las personas, familiares y cuidadores, y por supuesto, para la sociedad^{1,2}. Según la Organización Internacional del Trabajo, estos trastornos son uno de los problemas de salud más importantes en el entorno laboral³. En la Unión Europea representan el 50% de todas las ausencias laborales de más de tres días, el 49% de todas las ausencias mayores de dos semanas, y un 60% de todos los casos registrados de incapacidad permanente⁴. De hecho, en los países desarrollados, un tercio de las bajas laborales por razones de salud se deben a trastornos y dolencias del aparato locomotor; ocupando el primer lugar (un 60%) la patología de la región lumbar, después el dolor cervical y de extremidad superior, por último, le siguen el dolor en la zona de la rodilla y de la cadera². Además, las patologías del sistema musculoesquelético generan un fuerte impacto en la sociedad ya que son las enfermedades que mayor gasto

socioeconómico ocasionan, y cuando afectan a la población activa, generan incapacidad para el trabajo, lo que ocasiona pérdidas de productividad y costes sociales y laborales muy importantes^{1,4}. En concreto, en la Unión Europea los costos totales que generan los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo suponen alrededor de 240 billones de euros⁴.

Factores de riesgo.

- Físicos: En la Unión Europea, el 62% de los trabajadores realizan movimientos repetitivos de manos y brazos, por lo que están expuestos a sufrir lesiones durante una cuarta parte del tiempo que desarrollan su actividad laboral. El 46% se exponen a posturas dolorosas y el 35% transportan cargas pesadas. El riesgo de sufrir un trastorno musculoesquelético aumenta al realizar movimientos repetitivos y actividades deportivas prolongadas, al exponerse a presiones o vibraciones corporales, al mantener posturas forzadas, al realizar movimientos repetitivos y al no tomarse suficiente tiempo de recuperación física tras una tarea.
- Psicosociales: En los que se encuentran la falta de control sobre las tareas, el ambiente laboral, un insuficiente apoyo social, el incremento de las exigencias laborales, la insatisfacción personal en la actividad laboral, la monotonía en el trabajo, el estrés, y por supuesto, la ansiedad y el ánimo depresivo^{3,5}.
- Individuales: Como son, la edad, el género, y el índice de masa corporal, que tienen una relación directa con el desarrollo de este tipo de lesiones. Respecto a la edad, estas patologías pueden afectar a personas de todas las edades, pero se desarrollan con más frecuencia conforme aumenta la antigüedad laboral, y debido a la fragilidad de las personas ancianas, son más prevalentes en personas mayores. En cuanto al género, algunos estudios datan de una mayor prevalencia de determinados trastornos musculoesqueléticos en mujeres, en el informe del Ministerio de Sanidad se señala que las mujeres tienen 1,8 veces más de probabilidades de presentar algún problema crónico, y 1,5 más que vean su actividad limitada a causa de estas patologías, en comparación con los hombres, independientemente de la edad, situación laboral o clase social.² Cabe destacar que se debe diferenciar entre la influencia fisiológica y de la exposición, puesto que en muchos casos lo que origina la lesión son aspectos como la diferencia de estatura o diseños de puesto de trabajo, pensando más en características físicas de los hombres; Es por ello que las mujeres desarrollan más trastornos por movimientos repetitivos³.

El ejercicio en la patología musculoesquelética.

El ejercicio puede reducir el dolor y mejorar la calidad de vida de las personas con trastornos musculoesqueléticos, siendo una de las mejores estrategias de manejo a largo plazo. El ejercicio en el ámbito de la fisioterapia abarca una amplia gama de intervenciones, en los que se destacan el ejercicio aeróbico, los ejercicios de flexibilidad o los ejercicios para el fortalecimiento de regiones corporales, como son los ejercicios excéntricos.

La capacidad de un paciente para cumplir con el programa de ejercicio establecido por el profesional sanitario, es un factor muy importante para el éxito del tratamiento de la patología. Los pacientes que se adhieren de forma constante y regular al ejercicio, tienen menos probabilidades de progresar a problemas persistentes, discapacitantes, o incluso recidivantes. De hecho, aumentar la adherencia al programa de ejercicio puede proporcionar mayor beneficio para el paciente que mejorar aspectos de la propia intervención en sí. Por el contrario, la no adherencia a los programas puede desarrollar un impacto negativo en la eficacia del tratamiento, las relaciones terapéuticas y los costes sanitarios.

No existe una medida estándar de adherencia a los programas de tratamiento, además, el valor más adecuado para la adherencia de un tipo de ejercicio terapéutico, como pueden ser los ejercicios de fortalecimiento muscular, puede no ser la apropiada para medir el cumplimiento de otros tipos de ejercicio, como son los ejercicios aeróbicos. Se ha intentado identificar numerosas estrategias para aumentar la adherencia a los programas de ejercicio, sin embargo, aún no existe una guía para su evaluación en la práctica clínica relacionada con patologías musculoesqueléticas, ya que la adherencia a estos programas no siempre se mide, y cuando si se regula, las medidas utilizadas la mayor parte de las veces no se validan o estandarizan. Aunque existen numerosas medidas de cumplimiento del ejercicio informadas por profesionales sanitarios en los entornos de la práctica clínica, como puede ser el uso de un diario, la mayoría carece de un fundamento teórico^{6,7}.

3.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO.

Entre los objetivos más importantes del trabajo, se destaca:

- Definir en profundidad el ejercicio excéntrico y las características que lo diferencian de otros tipos de ejercicio.
- Conocer los principales beneficios de los ejercicios excéntricos en el sistema musculoesquelético.
- Determinar cómo introducir un protocolo de ejercicios excéntricos para abordar la patología musculoesquelética en un tratamiento de fisioterapia.

4. METODOLOGÍA.

Fuente de información.

Entre los meses de Octubre de 2017 y Febrero de 2018, se realizó una búsqueda de la literatura científica publicada en diferentes bases de datos, las escogidas para ello fueron Pubmed, Cochrane, PEDro. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: “*eccentric exercise*”, “*eccentric contraction*”, “*eccentric training*”, “*eccentric protocol*”, “*eccentric rehabilitation*”, “*musculoskeletal pathology*”, “*eccentric for tendinopathies*”. Además, se utilizó también como fuente de información, libros especializados destinados a Fisioterapia y al sistema musculoesquelético.

En cuanto a la estrategia y límites de la búsqueda bibliográfica, se aplicó:

Criterios de inclusión.

Se seleccionaron estudios en lengua española o inglesa, publicados en los últimos 10 años (2008-2018), cuyo contenido principal son los ejercicios excéntricos. Estudios en seres humanos que contengan terapia con excéntricos, o rehabilitación realizada con estos, así como artículos sobre patología musculoesquelética. Los tipos de estudio que se han incluido en esta metodología son ensayos clínicos experimentales bien diseñados, así como revisiones sistemáticas y de la literatura.

Criterios de exclusión.

Estudios en otras lenguas que no sean española o inglesa, así como los publicados con anterioridad al 2008. Pese a contener información relacionada con ejercicios excéntricos o patología musculoesquelética, no se seleccionaron estudios realizados en animales, ensayos cuasiexperimentales, con o sin grupo control, así como opiniones personales de expertos u otros autores.

Procedimiento de información.

Tras la recopilación de los documentos y estudios publicados en los libros y bases de datos anteriormente mencionados, se realizó una lectura y análisis íntegros de los artículos encontrados, seleccionándolos según la relevancia de la información, criterios de interés y objetivos planteados en el trabajo.

5. DESARROLLO DEL TRABAJO.

5.1 SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO.

El sistema musculoesquelético está compuesto por unos 208 huesos que componen la estructura y proporcionan soporte al cuerpo, un centenar de articulaciones y más de 650 músculos que actúan de forma coordinada para mover el cuerpo, además de ofrecer soporte, protección y alojamiento de los órganos internos. El hueso es un tejido formado por la combinación de células vivas (osteoblastos, osteocitos, osteoclastos) con materiales inertes

(sales), confiriendo gran fuerza pero a su vez ligereza y resistencia. Está considerado como un órgano ya que es el resultado del trabajo en conjunto de diferentes tejidos: óseo, cartílago, conectivo denso, epitelio, adiposo y nervioso. Para desarrollar su función, los huesos se encuentran unidos entre sí por las articulaciones, que están constituidas principalmente por ligamentos y músculos, estos últimos se unen al hueso gracias a los tendones⁸.

Sistema muscular.

El sistema muscular lo conforman el conjunto de músculos esqueléticos, cuyo objetivo es el movimiento del cuerpo. Constituye la parte activa del aparato locomotor ya que es el responsable de los movimientos de los huesos; estos se rigen por órdenes procedentes del sistema nervioso y el sistema endocrino, produciendo con ellas movimientos voluntarios.

El músculo esquelético es un órgano constituido por tejido conectivo y células musculares esqueléticas:

Las células musculares son largas, por ello su término “fibras”, cilíndricas y multinucleadas (debido a la fusión y diferenciación de los mioblastos). Además, poseen estructuras celulares con denominaciones diferentes a las que reciben en otras células; el citoplasma se conoce como “sarcoplasma” y la membrana “sacolema”; encontramos gran cantidad de haces finos de las fibrillas en el interior del sarcoplasma que se denominan “miofibrillas”, que ocupan la mayoría del volumen citoplasmático, estas se constituyen por fibras todavía más estrechas llamadas “miofilamentos”.

La unidad funcional del músculo se conoce como “sarcómero”, este constituye la base de las propiedades contráctiles del músculo. Se compone de miofilamentos de actina (delgados) y miosina (gruesos) que se superponen formando puentes cruzados. Estos sarcómeros se encuentran delimitados por unas zonas llamadas “discos Z”; desde ellos se extienden en ambas direcciones diversos miofilamentos delgados que se intercalan entre los gruesos. Esta formación intercalada de los miofilamentos es la que ha permitido visualizar bandas de diferentes coloraciones al microscópio (Figura 1):

- Bandas A (anisotrópicas, ya que refractan la luz polarizada); son una franjas anchas y oscuras, en sus extremos se solapan miofilamentos gruesos y finos, mientras que en la zona central sólo se encuentran miofilamentos gruesos.
- Bandas I (isotrópicas, ya que no refractan la luz polarizada); son bandas claras constituidas únicamente por filamentos finos.
- Banda H; es la parte central de la banda A, una banda más clara formada sólo por miofilamentos gruesos.
- Línea M; se localiza en el centro de la banda H, divide la banda A en dos mitades iguales, es el lugar donde se encuentran encima del metabolismo muy importantes como la Creatina quinasa.

El tejido conectivo es vital para la transmisión de la fuerza que generan las células musculares al esqueleto, además, reviste las fibras musculares formando una envoltura denominada

“endomisio”, agrupándose a su vez en fascículos rodeados por tejido conectivo más robusto conocido como “perimisio” y el músculo en su totalidad se rodea por tejido conectivo aún más fuerte que recibe el nombre de “epimisio”^{9,10}.

Propiedades de los músculos.

Los músculos esqueléticos responden a impulsos nerviosos producidos por nervios motores, cuyas terminaciones se localizan en los propios músculos, dando lugar a lo que se conoce como “placa motora” o “unión neuromuscular”.

La principal propiedad fisiológica del tejido muscular es la contractilidad, esta depende de los componentes musculares y es la responsable del movimiento y fuerza del músculo. A su vez, el músculo tiene otras tres propiedades:

- Excitabilidad: La capacidad de responder a los estímulos que recibe; esta se debe a la presencia de estructuras neuromusculares en la membrana de la placa motora, o en las propias fibras musculares.
- Extensibilidad: Es la facultad para poder ser físicamente estirado.
- Elasticidad: Capacidad del músculo para volver a su estado original una vez que ha sido estirado o contraído. Por el contrario, si el músculo asume una nueva y mayor longitud después del cese de la carga externa, hablamos de plasticidad.

Tanto elasticidad como extensibilidad dependen del componente conjuntivo, ya que proporciona las propiedades mecánicas y elásticas del tejido⁹.

Tendones.

Los tendones son estructuras anatómicas situadas entre el músculo y el hueso, encargados de transmitir las cargas de tracción que se genera a través de estos para permitir el movimiento y estabilidad de las articulaciones. Están compuestos por diferentes elementos: células, sustancia fundamental y fibras de colágeno; además, se encuentran rodeados por una vaina peritendinosa o paratendón, cuya función es reducir la fricción del tendón con los tejidos adyacentes, permitiendo así un movimiento libre de estas estructuras.

Existen muchos tipos de células en los tendones, sin embargo, la mayoría lo constituyen los tenocitos; son un tipo de células similares a los fibroblastos que se intercalan entre los haces de fibras de colágeno y se sitúan de forma alineada a lo largo del eje longitudinal del tendón.

El tendón posee en concreto un 2% de elastina y un 30% de colágeno, que se localizan en una matriz extracelular que contiene un gran porcentaje de agua. El colágeno tipo I supone el 70-80% del peso seco del tendón, además de este, muchos otros tipos de colágeno están también presentes en los tendones aunque en menor medida; siendo el colágeno la clave de la resistencia a la tracción por parte de los tendones,

Se pueden distinguir dos tipos de tendones, los que principalmente transmiten cargas (el tendón rotuliano y de Aquiles), y los que principalmente transmiten movimientos (tendones flexores). A su vez, los tendones se dividen en tres zonas específicas a lo largo de su longitud;

el punto de unión entre el músculo y tendón, que se conoce como unión miotendinosa (UMT); la unión entre hueso y tendón, que se denomina unión osteotendinosa; y el cuerpo del tendón que se sitúa en la zona media de este.

La UMT es una unidad funcional que tiene la capacidad de adaptarse a las diferentes condiciones de carga, para que dependiendo del grado de solicitación, pueda producirse una correcta adaptación y así producir un movimiento adecuado. Además es la zona de mayor sufrimiento cuando se aplican fuerzas de tracción durante la contracción muscular, de hecho, es la región en la que se localizan gran número de lesiones debido a la distribución asimétrica de las tensiones, en la que la tensión muscular que se genera supera considerablemente a la capacidad de absorción de las fibras tendinosas. Para poder aumentar la superficie de contacto y así soportar mejor el estrés, los tendones presentan unos repliegues membranosos en su estructura. La localización de la lesión en esa zona de unión depende de la actividad del músculo; si la UMT se tensa pero el músculo se encuentra relajado, la lesión se genera muy próxima a la UMT; sin embargo, si la UMT se tensa mientras el músculo está estimulado, la lesión se produce en la propia UMT^{11,12}.

5.2 TIPOS DE TRABAJO Y CONTRACCIÓN MUSCULAR.

Contracción muscular.

Las fibras musculares reciben estimulación a través de las fibras nerviosas motoras, desencadenando un potencial de acción que se extiende por todo el sarcolema desarrollando la contracción muscular.

Durante la contracción muscular, tanto los filamentos de actina como los de miosina (proteínas que forman los miofilamentos), permanecen en una longitud constante. El cambio en la longitud de la fibra muscular se produce gracias a una superposición de ambos filamentos en un movimiento deslizante. Este movimiento es impulsado por una fuerza generada por los puentes cruzados de miosina, lugar donde ambos filamentos se superponen. Las cabezas de miosina interaccionan de forma repetida con la actina, y da lugar a la disminución de longitud del sarcómero. Durante este acortamiento, los discos Z se aproximan el uno al otro, la banda A mantiene su longitud constante, mientras que las bandas H e I se acortan¹³. Un factor determinante para el deslizamiento de los filamentos es el ion Calcio (Ca^{2+}), ya que la contracción muscular se inicia cuando el Calcio está disponible para los elementos contráctiles, y cesa cuando el Calcio se elimina. Esta teoría de los filamentos deslizantes fue propuesta por Huxley en 1964, y perfeccionada en 1974; es la teoría más sostenida sobre la contracción muscular¹⁴.

Tipos de trabajo muscular.

Se distinguen dos tipos de trabajo muscular:

Trabajo estático: No se desarrolla trabajo mecánico, y la posición articular se mantiene constante gracias a la **contracción isométrica**:

La contracción isométrica es una forma de ejercicio estático en el que el músculo se contrae y produce fuerzas sin movimientos articulares visibles, ni cambios perceptibles en la longitud del músculo. El término isométrico se compone del prefijo “iso” que significa constante, y “métrica” que significa longitud. Aunque no se realiza ningún trabajo mecánico (fuerza x distancia), el músculo produce magnitudes de tensión y fuerza, pero estas no superan la resistencia y no se produce movimiento, sino que se soporta la carga en posición fija, como empujar contra una pared.

Trabajo dinámico: Se desarrolla trabajo mecánico y se produce movimiento articular gracias a los siguientes tipos de contracción muscular:

Contracción concéntrica:

Ocurre cuando la tensión que generan los músculos es suficiente para superar la carga (resistencia) aplicada a estos, produciendo acortamiento muscular y con ello movimiento articular. El término concéntrico contiene el prefijo “con” que significa junto y “centrum” que se dirige hacia el centro. Un ejemplo de este tipo de contracción se produce cuando, al subir escaleras, se extiende la rodilla gracias a la acción del cuádriceps ^{14,15}.

Contracción excéntrica:

Aquella en la que se sobrepasa la capacidad muscular de producir fuerza debido a la carga externa que recibe, produciendo así un alargamiento físico del músculo tratando de controlar la carga¹³. En la contracción excéntrica, a pesar de la activación de la unión actina-miosina a través de los puentes cruzados, el músculo aumenta su longitud y se alarga debido a que la resistencia a vencer es mayor a la tensión generada por los elementos contráctiles y viscoelásticos del músculo. Un ejemplo de este tipo de contracción se produce cuando al bajar escaleras, se desacelera la flexión de rodilla gracias al trabajo del cuádriceps en forma excéntrica ¹⁴.

5.3 LA CONTRACCIÓN EXCÉNTRICA.

El término excéntrico fue presentado por primera vez por Asmussen en 1953; contiene el prefijo “ex” que significa fuera y “centrum”, refiriéndose a una contracción muscular que se aleja del centro del músculo¹⁶. El alargamiento que se produce en el sistema músculo-tendón durante esta contracción, junto con la producción de fuerza, se denomina “contracción de alargamiento”, en oposición al término “acortamiento de la contracción” de las contracciones concéntricas. Durante la contracción de alargamiento, el músculo absorbe energía debido a la carga externa, esta es la razón por la que el entrenamiento excéntrico se denomina “trabajo negativo”¹⁷, ya que se utiliza este tipo de contracción en el frenado y desaceleración del movimiento articular¹⁸. La energía mecánica producida en esta contracción puede disiparse

como calor, en cuyo caso el músculo actúa como un amortiguador, o, alternatively, puede almacenarse temporalmente como energía de retroceso elástico y sumarse a la fuerza producida durante la contracción concéntrica sucesiva. Así, el sistema músculo-tendón funciona como un resorte cuando se produce el alargamiento muscular antes de acortarse; el acoplamiento de excéntrico y concéntrico se conoce como ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA)^{13,17}. La contracción excéntrica no suele producirse de forma aislada, sino que aparece integrada en el CEA, siendo este la base de las actividades cotidianas como andar, saltar, etc... Es importante el componente del tiempo en el funcionamiento del CEA, ya que si el acoplamiento entre la fase excéntrica y concéntrica es muy largo, la energía elástica se perderá en forma de calor. En comparación con el ejercicio concéntrico puro, un CEA durante un ciclo de movimiento conduce a una mayor eficacia muscular¹⁹. Por ello, el trabajo excéntrico se considera un complemento de entrenamiento en los programas de fuerza y acondicionamiento para mejorar u optimizar el rendimiento o para la prevención de lesiones¹⁶.

Las contracciones excéntricas se consideran importantes para el entrenamiento y los programas de fisioterapia gracias a su potencial para producir gran cantidad de fuerza, solicitando el resorte muscular de manera máxima generando mayores ganancias de fuerza con un bajo coste metabólico. A su vez, refuerza el sistema músculo- tendón ya que estimula la síntesis de colágeno y la activación de genes de crecimiento y desarrollo celular^{17,20}.

5.3.1 Tipos de ejercicios mediante contracción excéntrica.

Se puede distinguir diversas modalidades de ejercicio excéntrico:

- Excéntrico de “alta intensidad-bajo volumen”, que se caracteriza por una carga muy elevada y un número bajo de repeticiones dentro de la sesión de entrenamiento. Este entrenamiento se realiza de manera puramente excéntrica o mixta (excéntrico-concéntrico).
- Excéntrico de “baja intensidad-alto volumen”, caracterizado por una larga duración pero con intensidades de ejercicio submáximas. Este entrenamiento es seguro para personas con intolerancia al ejercicio y personas mayores¹⁹.

Además, el ejercicio excéntrico puede realizarse a velocidad constante (isocinético) o contra una carga externa constante (isotónico):

Isotónicos: Son una modalidad de ejercicios contra resistencia en la que se moviliza el miembro en contra de una carga externa constante mediante un peso libre, mancuernas, sistemas de poleas, etc... Aunque la carga externa que debe vencer el músculo es invariable, la fuerza y la tensión que genera el músculo a lo largo del movimiento si se modifican debido principalmente a las aceleraciones y desaceleraciones, y a las variaciones de la longitud del brazo de palanca. Cuando se desciende una carga constante, se exige al máximo al músculo en sólo una porción de la amplitud del movimiento, principalmente en el inicio y el final del rango de movimiento articular (ROM), logrando la fuerza máxima que el músculo es capaz de producir (hasta 140% en sujetos entrenados). Por lo tanto, en este ejercicio encontramos una

primera fase de amortiguación en la que la fuerza impuesta por la carga es mayor que la fuerza muscular, seguida de una fase durante la cual el sujeto controla la carga, hasta los ángulos extremos donde el control de esta se vuelve más complicado. Por tanto, que esta contracción requiere de forma preferencial las estructuras elásticas en los ángulos extremos, siendo el músculo más solicitados en los ángulos cercanos al torque máximo; de esta forma se puede aumentar la rigidez de estas estructuras elásticas en esos ángulos del movimiento^{17,21}.

Isocinéticos: En este tipo de ejercicios, la velocidad de acortamiento o alargamiento muscular se mantienen constantes ya que se establecen de forma predeterminadas mediante un dispositivo denominado dinamómetro isocinético. Este aparato induce una sollicitación máxima del sistema contráctil en el ROM, sin una mayor aceleración como se produce en las contracciones excéntricas. Con el dinamómetro se puede llegar a una parada completa del movimiento cuando hay un cese en la producción de fuerza, y aplicar una resistencia adaptada a las capacidades del sujeto. La fuerza muscular producida es siempre máxima por parte del músculo que se contrae en todo el ROM, gracias a la capacidad muscular para desarrollar tensión muscular en las diversas posiciones de la amplitud del movimiento, y no en una única porción del movimiento como se produce en los isotónicos. Además la actividad de los músculos solicitados también es teóricamente máxima, lo que provoca adaptaciones neurales más destacadas con este tipo de entrenamiento frente al isotónico^{17,21}.

5.3.2 Propiedades de la contracción excéntrica.

Estrategias de activación muscular.

El sistema nervioso central emplea estrategias neuronales diferentes para controlar el músculo durante las contracciones excéntricas frente a las concéntricas o isométricas; de hecho, los estudios de neuroimagen han demostrado que las actividades corticales que se asocian con el procesamiento de las señales de retroalimentación son más grandes e intensas, y se inician más tempranamente en las acciones excéntricas frente a las concéntricas, debido a la complejidad del movimiento, la modulación de la actividad refleja y a la realización de una estrategia diferente de control que se llevan a cabo con el alargamiento del músculo^{20,22,23}. Además, la excitabilidad cortical involucra una mayor área cerebral, independientemente de cuales sean las condiciones de la carga externa y de la actividad de la motoneurona inferior¹³.

Durante las contracciones excéntricas, el sistema nervioso central es incapaz de reclutar de manera máxima todas las unidades motoras de un músculo; numerosos estudios han demostrado que durante las contracciones excéntricas se lleva a cabo un reclutamiento preferencial de las fibras musculares tipo II, de contracción rápida^{17,20,24}.

La actividad muscular, medida en la piel durante el trabajo muscular excéntrico mediante el uso de la electromiografía (EMG), es menor frente a las contracciones concéntricas para una velocidad angular dada y para un mismo nivel de producción de fuerza, siendo esta diferencia

más notable en sujetos no entrenados^{13,17,25}. Se han propuesto diversas hipótesis para explicar los mecanismos responsables de esta disminución de la EMG:

Algunos autores explican que esta inhibición se origina a partir de la tensión excesiva que se aplica al complejo del tendón debido a la excitación de los órganos tendinosos de Golgi, estos, sensibles a la tensión muscular, pueden tener un efecto inhibitor sobre la actividad de las motoneuronas^{17,24}. También puede deberse a las aferencias provenientes de los husos musculares, que proporcionan información sobre la longitud del músculo y su variación, pudiendo modular el comando eferente produciendo una inhibición periférica sobre las motoneuronas, esto puede observarse en estudios sobre el reflejo de Hoffman. El reflejo de Hoffman es un componente del reflejo de estiramiento, caracterizado por una respuesta EMG, desencadenada por una estimulación de un nervio motor durante una contracción muscular. Este reflejo es el resultado de la activación de las motoneuronas gracias a las aferencias de los husos neuromusculares; la amplitud del reflejo se relaciona con el número de motoneuronas activadas, que refleja la excitabilidad de estas y la transmisión sináptica de las aferencias. Ahora bien, durante las contracciones excéntricas, este reflejo de Hoffman es menor que durante las contracciones concéntricas, lo que apunta a la existencia de una inhibición presináptica de las aferencias provenientes los husos neuromusculares¹⁷.

Por otro lado, se cree que la inhibición espinal es un mecanismo principal responsable de esta actividad motora reducida durante las contracciones excéntricas, ya que se ha visto que se produce una depresión en la amplitud EMG durante una contracción isométrica máxima que precede a una contracción excéntrica siguiente, lo que sugiere que la actividad reducida registrada puede no ser explicada en su totalidad por mecanismos de retroalimentación relacionados con la tensión y longitud muscular²³. Además, se ha postulado que la excitabilidad cortical aumentada durante las contracciones excéntricas puede tratarse de una respuesta a modo de compensación de la inhibición espinal que se produce¹³.

Velocidad de la contracción.

La velocidad con la que se ejecutan los ejercicios excéntricos o concéntricos, afecta directamente a la capacidad de producir fuerza de la unidad neuromuscular. Durante una contracción excéntrica, conforme se aumenta la velocidad del alargamiento muscular activo, la fuerza muscular aumenta hasta cierto punto y luego se estabiliza^{13,21,25}. Ese aumento inicial en la fuerza se cree que es una respuesta protectora del músculo a la sobrecarga inicial, también se piensa que el aumento puede deberse al estiramiento de los tejidos musculares no contráctiles¹³. De acuerdo con el modelo de Huxley, la mayor producción de fuerza durante el alargamiento muscular activo podría deberse a un tramo mayor de porciones del segundo complejo de miosina, a medida que se aumenta la velocidad de estiramiento, menos cabezas de miosina pueden unirse a la actina, pero gran número de ellas permanecerán suspendidas en un estado activo situadas muy próximas a la actina; estas cabezas de miosina podrían

reacoplarse a la actina rápidamente, lo cual parece ser una de las razones por la que los músculos son capaces de desarrollar mayores fuerzas durante el alargamiento a altas velocidades^{13,24}.

Sin embargo, otras investigaciones indican que la fuerza no se ve afectada por la velocidad, permaneciendo constante durante toda la contracción. De acuerdo con la relación fuerza-velocidad establecidas in vitro en preparaciones de una única fibra muscular, en las contracciones excéntricas, la fuerza se incrementa a medida que se aumenta la velocidad de alargamiento de la fibra. Por otro lado, in vivo, la relación fuerza velocidad que se desarrolla en una articulación es menos clara. En las acciones excéntricas, los estudios informan que la fuerza muscular puede aumentar o disminuir conforme aumenta la velocidad de alargamiento muscular, llegando a la conclusión que las contracciones excéntricas no dependen de la velocidad de contracción. Las discrepancias de la relación fuerza-velocidad in vitro e in vivo podrían deberse a factores de confusión in vivo, como la contracción conjunta de los músculos antagonistas o las diferentes activaciones neuronales de los músculos agonistas²².

Consumo energético y fatiga muscular.

El ejercicio excéntrico es menos exigente metabólicamente frente al ejercicio concéntrico, solicitando menos unidades motoras, y un menor consumo de oxígeno para una misma tasa de trabajo, manteniendo los depósitos de energía prácticamente invariables^{13,21,25,26}. Es por ello que para mejorar la resistencia muscular, pueden ser más efectivos este tipo de ejercicios ya que la fatiga muscular se produce más tardíamente. En este tipo de ejercicio, el consumo de oxígeno no suele aumentar más del doble del valor del reposo, ya que requiere 4 o 5 veces menos oxígeno en comparación con el ejercicio concéntrico frente a cargas similares. A su vez, la ventilación pulmonar durante un ejercicio excéntrico parece ser mayor para un consumo de oxígeno dado, debido a que las fuerzas musculares mayores provocan un aumento en el impulso respiratorio neurógeno^{13,21,25,27}. Además, numerosos estudios demuestran que el trabajo excéntrico provoca una menor actividad del sistema nervioso simpático, así como una frecuencia y gasto cardíaco menores, en comparación con el concéntrico a igualdad de cargas mecánicas^{13,26,28}. De hecho, durante esfuerzos excéntricos intensos y prolongados, la frecuencia cardíaca logra un nivel submáximo y el sujeto trabaja al 60% de su potencia aeróbica máxima¹².

El menor consumo de oxígeno podría deberse a una ruptura mecánica dependiente de ATP de los puentes cruzados de actina-miosina^{22,27}; atendiendo a la teoría de los filamentos deslizantes, durante la contracción muscular, cuando se produce la etapa de desactivación y cese de los puentes de actina-miosina, se consume ATP en las contracciones concéntricas e isométricas; mientras que durante las contracciones excéntricas, estos puentes se desactivan de forma forzosa debido al alargamiento muscular que se produce, sin necesidad de consumo de ATP, ralentizando a su vez la producción de calor²⁸.

Fatiga muscular.

Según García López et al²⁸, la fatiga muscular es un descenso en la producción de fuerza, o la incapacidad de generar de nuevo una fuerza ya alcanzada previamente, que se acompaña de un aumento en el esfuerzo. El reclutamiento selectivo de las fibras de contracción rápida durante el trabajo excéntrico, teóricamente debería generar mayor fatiga; sin embargo el músculo resulta ser altamente resistente a la fatiga producida por contracciones excéntricas máximas, a pesar del incremento de fuerza muscular.

Las causas que producen esta mayor resistencia a la fatiga podrían atribuirse al menor coste energético producido, también a la menor activación de unidades motoras durante este tipo de contracciones que permite a las fibras musculares prolongar la actividad excéntrica con menor aparición de fatiga^{21,28}. Además, la fatiga muscular está ligada a la velocidad, de modo que si se realiza una contracción excéntrica a baja velocidad, se produce mayor fatiga, y si se realiza a alta velocidad, la fatiga es menor, puesto que a velocidades altas influye el ciclo de acortamiento-estiramiento, de tal manera que la tensión muscular requiere un menor consumo de energía, retrasando la aparición de fatiga¹².

Generación de mayores picos de fuerza.

Un gran número de estudios sostienen que durante las contracciones excéntricas se genera una fuerza muscular máxima en comparación con las isométricas y concéntricas^{13,17,20,24}.

La fuerza muscular máxima se produce cuando la superposición de los filamentos de actina y miosina permite la formación del mayor número de puentes cruzados, esto ocurre en la longitud óptima del sarcómero. Sin embargo, la fuerza de un músculo no depende solamente de la longitud del sarcómero y la formación de puentes cruzados, sino también de la velocidad de acortamiento o alargamiento. Se ha propuesto que la activación de la segunda cabeza de la miosina uniéndose a la actina, aumenta el número total de puentes cruzados activos, es decir, durante las contracciones concéntricas e isométricas, sólo se produce la unión de una cabeza de miosina con la actina, mientras que la mayor tensión que se produce en la cabeza de la miosina durante el alargamiento muscular, puede facilitar la activación de una segunda cabeza. Este mecanismo duplicaría el número de puentes cruzados durante el alargamiento activo y podría desencadenarse cada vez más, conforme aumenta la velocidad de la contracción^{13,24}.

Además, cuando se levanta una carga externa, es sólo el componente contráctil del músculo el que participa en el movimiento, por el contrario, cuando se desciende una resistencia externa, la fuerza no sólo se ejerce sobre los componentes musculares que se contraen activamente, sino también sobre el tejido conectivo que se localiza en el tejido muscular y alrededor de este, solicitando al máximo el sistema músculo-tendón^{17,21}. Esto, unido a la capacidad para reclutar principalmente fibras musculares de contracción rápida e incluso unidades motoras previamente inactivas, conlleva una mayor tensión mecánica y, como consecuencia, a una mayor producción de fuerza²⁰. De hecho, García López et al²⁸ indicaron que durante la

contracción excéntrica se produce tensión un 20-30% más que la producida por una contracción isométrica. Asimismo, en sus investigaciones compararon las fuerzas producidas por los flexores de codo durante tres tipos de contracciones diferentes (excéntrica, concéntrica e isométrica), los resultados concluyeron que la fuerza excéntrica era 13,5% superior a la isométrica y un 39,5% mayor que la concéntrica. Douglas et al ¹³ concluyeron en sus estudios que aproximadamente se genera un 20% y 60% más de fuerza durante las contracciones excéntricas en comparación con las concéntricas.

5.3.3 Adaptaciones inducidas por el ejercicio excéntrico.

Aumento de la fuerza.

Según los estudios, el ejercicio excéntrico es el trabajo más eficiente para incrementar las capacidades de fuerza máxima que se puede desarrollar en un movimiento, en comparación con los ejercicios mediante contracciones concéntricas e isométricas. Estos aumentos de fuerza se producen gracias a la capacidad del trabajo excéntrico para desarrollar una mayor fuerza máxima durante la contracción de alargamiento muscular^{13,17,20,29,30}. También, se producen gracias al incremento en la activación voluntaria del músculo agonista y la disminución de la coactivación de los antagonistas durante las acciones excéntricas. Además, la incapacidad para activar completamente el músculo durante estas contracciones reclutando un menor número de unidades motoras, sobretudo en sujetos desentrenados, puede explicar que esta modalidad de ejercicio aumente la fuerza en mayor medida frente al ejercicio concéntrico³⁰.

La revisión de Guillherm et al¹⁷ señala que las ganancias de fuerza obtenidas tras diferentes sesiones de entrenamiento, respecto a las capacidades iniciales de producción de fuerza muscular, van del 1 al 116% tras el trabajo excéntrico, del 1 al 67% tras el trabajo concéntrico y del 7 al 45% tras el trabajo isométrico.

Hipertrofia muscular.

Gracias a su potencial para generar mayor fuerza, los programas de ejercicios excéntricos conducen a mayores ganancias de masa muscular, ya que inducen un aumento de la superficie de la sección transversal de las fibras musculares^{17,22,24,29}. En el estudio de Schoenfeld et al³¹ se concluyó que el entrenamiento excéntrico produce mayores aumentos en la hipertrofia en comparación con el entrenamiento concéntrico, un 10% de aumento frente al 6,8% respectivamente. Además, resultados en biopsias musculares encontraron que el ejercicio excéntrico produce mayor hipertrofia en las fibras musculares tipo II, debido al reclutamiento preferencial de estas durante el trabajo excéntrico.

Una sesión de ejercicio excéntrico provoca la activación progresiva de los genes responsables del desarrollo y crecimiento celular. Los niveles de estos genes se estimulan más en acciones excéntricas en comparación con isométricas o concéntricas, y se desencadenan 6 horas

después del ejercicio¹⁷. Los estudios también sugieren que el daño muscular inducido por el ejercicio (DMIE) puede tener un papel importante en el crecimiento muscular, ya que la respuesta inflamatoria y el recambio proteico que se asocian al daño muscular, podrían aumentar el tamaño muscular. Como el DMIE se produce en gran medida tras ejercicio excéntrico, se postula que este ejercicio conduce a respuestas hipertróficas más altas. Sin embargo el DMIE disminuye después de la primera sesión de ejercicio excéntrico gracias a un efecto protector, por lo que la contribución real del DMIE en las adaptaciones hipertróficas a largo plazo aún no han sido determinados²⁴.

En las investigaciones de Franchi et al²⁴ se consideraron estudios que tomaban la circunferencia muscular como un índice hipertrófico en respuesta al entrenamiento excéntrico frente al concéntrico, utilizando entrenamientos isotónicos e isocinéticos. Los resultados determinaron un mayor aumento de la circunferencia muscular en los músculos de la parte superior del cuerpo tras las sesiones de entrenamiento excéntrico, mientras que no se encontraron diferencias en los músculos extensores de rodilla, por tanto, parece importante reconocer la posible variabilidad que existe entre los distintos grupos musculares en las respuestas a entrenamientos similares. A su vez, en estudios que consideraron el área de sección transversal de la fibra muscular tipo II como índice de hipertrofia muscular, todos mostraron un aumento significativo en esta, o en la distribución de fibras tipo II en el músculo, como respuesta al entrenamiento de resistencia excéntrico.

Una diferencia entre el entrenamiento mediante ejercicio excéntrico y el concéntrico reside en la hipertrofia regional específica. En el entrenamiento excéntrico se produce mayor crecimiento distal del músculo, mientras que tras el trabajo concéntrico se hipertrofia más el vientre muscular medio²⁴. Asimismo, estudios de laboratorio han encontrado diferentes adaptaciones arquitectónicas entre las contracciones excéntricas frente a las concéntricas. En las excéntricas se produce un mayor crecimiento en la longitud del fascículo (reforzando el concepto de que el alargamiento durante la contracción puede estar íntimamente relacionado con el crecimiento longitudinal del músculo. Este entrenamiento también puede aumentar considerablemente el ángulo de penetración de los fascículos musculares, un proceso que se asocia a la hipertrofia muscular¹⁷. En el estudio de Guilhem et al¹⁷ se observó que tras un programa de entrenamiento excéntrico de 10 semanas, se produjo un aumento del 21,4% del ángulo de penetración del vasto lateral del cuádriceps, frente al 13,3% después de un programa similar de entrenamiento concéntrico. El aumento en este ángulo se considera una estrategia del músculo para aumentar la cantidad de elementos contráctiles, es decir, para la adición de sarcómeros en serie o paralelo a lo largo de la aponeurosis tendinosa^{17,24}.

Daño muscular.

El DMIE se produce en mayor medida tras acciones excéntricas en comparación a las concéntricas^{24,31}, debido a los altos niveles de tensión que se producen con el alargamiento en el sistema músculo-tendón durante las contracciones excéntricas, provocando microlesiones de las fibras musculares. A nivel celular, estos daños producen desorganización de algunos sarcómeros y ruptura en la línea Z, que se asocia con fragmentación del retículo sarcoplásmico¹⁷.

La fisiopatología del DMIE no está del todo bien comprendida, se ha propuesto que la interrupción de los sarcómeros dentro de las miofibrillas es el principal evento que sustenta el DMIE, ya que cuando las miofibrillas se estiran durante la contracción, los sarcómeros que se superponen de forma óptima resisten al estiramiento más que otros sarcómeros, estos sarcómeros más débiles ocupan la mayor parte del estiramiento, debilitándose progresivamente conforme avanzan las series de contracciones hasta llegar a un punto en el que se alteran al exceder longitudes óptimas, se sobreexcitan y terminan rompiéndose, comprometiendo a las estructuras pasivas a mantener la tensión activa de los sarcómeros^{13,32}. Otro de los factores clave que se plantea en el proceso del daño muscular es el aumento de la concentración de Ca^{2+} intracelular, este incremento se debe a la activación de los canales de Ca^{2+} estimulados por la activación muscular durante el alargamiento. Por otro lado, se sugiere que el DMIE sea resultado de la tensión mecánica producida sobre el músculo durante el alargamiento, que desencadena procesos catabólicos mediados por síntesis de leucotrienos y prostaglandinas que debilitan el músculo y provocan respuestas de dolor^{28,32}.

Se ha intentado identificar si los daños producidos por el ejercicio excéntrico afectan en particular a un tipo de fibras musculares, varios estudios, corroboran que el ejercicio excéntrico intenso daña especialmente a las fibras musculares tipo II. Esto puede explicarse por el reclutamiento preferencial de fibras de contracción rápida que se produce en este tipo de contracción¹⁷. El grado de DMIE que se produce tras el ejercicio excéntrico aumenta con cargas elevadas, velocidades de contracción rápidas, también cuanto mayor alargamiento de las fibras musculares se produzca y, en mayor medida, en pacientes desentrenados^{13,32}. Además el grado de daño se puede estimar indirectamente mediante la medición de los niveles de enzimas y/o proteínas del músculo esquelético, como la creatina quinasa²².

Los síntomas típicos del daño muscular comprenden, dolor muscular tardío, hinchazón, aumento de concentración sérica de creatina quinasa, pérdidas prolongadas en el rango de movimiento articular y fuerza muscular, que son más prominentes entre el primer y tercer día después del ejercicio pudiendo afectar de forma negativa a las actividades de la vida diaria^{13,28}. El dolor muscular tardío, se refiere al dolor sordo que se siente durante el movimiento o la palpación del tejido muscular afectado. Este dolor ocurre entre las 12 y 48 horas (con un pico de dolor a las 24 horas) después de ejercicios excéntricos intensos o desconocidos, y

desaparece progresivamente entre 5 y 7 días^{13,17}. Además, se asocia a una disminución en la capacidad de producción de fuerza, generalmente entre un 10 y un 60% menor que en la contracción isométrica voluntaria máxima. Sin embargo, esta reducción en la producción de fuerza se restaura en una semana aproximadamente. Es importante destacar que el impacto de este daño muscular después de una segunda sesión de ejercicio excéntrico es menor que en la primera sesión, gracias a un efecto protector¹⁷.

Efecto de esfuerzo repetido.

El DMIE que se produce tras una primera sesión de ejercicio excéntrico, se atenúa progresivamente tras exposiciones repetidas al mismo tipo de ejercicio excéntrico. Este fenómeno se conoce como efecto de esfuerzo repetido ("Repeated Bout Effect"). Esta adaptación se caracteriza por una recuperación de la fuerza más rápida, menor restricción en el rango de movimiento, reducción en la hinchazón, en el dolor muscular tardío y en la liberación de proteínas musculares a la sangre después de la segunda sesión de ejercicio excéntrico, comparada con la primera sesión que se realizó unos días antes^{17,28,32}. Aunque se especula que el daño muscular provocado por la primera sesión de ejercicio es un requisito necesario para que se desarrolle el efecto protector, las investigaciones han demostrado que el ejercicio previo no necesariamente tiene que inducir daño muscular para que se produzca este efecto²⁸. Según los estudios, la duración de este fenómeno varía de pocas semanas a 6 meses, y el efecto protector resulta mayor cuando la segunda sesión de ejercicio se realiza dentro de las dos semanas posteriores a la primera sesión^{13,17,28}.

Se han propuesto diversas teorías para explicar las adaptaciones que se producen:

- Las teorías mecánicas atribuyen este efecto protector a una reorganización de las proteínas del citoesqueleto, con el fin de mantener alineados y bien estructurados los sarcómeros, para afrontar en mejores condiciones el segundo impacto de ejercicio excéntrico; también gracias a un aumento de la cantidad de tejido conectivo en el músculo, que permite la distribución de la tensión mecánica reduciendo el estrés a las miofibrillas durante el ejercicio excéntrico. Además, el efecto protector desencadena un aumento en el número de fibras musculares reclutadas contribuyendo a esa reducción del estrés y, con ello, la disminución del riesgo de daño muscular^{17,28}.
- Las teorías celulares proponen que el ejercicio excéntrico produce un aumento de sarcómeros en serie. Esto podría reducir el estiramiento y con ello la ruptura de los sarcómeros tras el ejercicio. Por otro lado, se achaca este efecto protector a cambios en la respuesta inflamatoria, ya que se produce una disminución de esta tras el entrenamiento excéntrico repetido debido a una activación reducida de monocitos y neutrófilos, que están implicados en la respuesta inflamatoria¹⁷.

La protección frente al daño muscular que ofrece el ejercicio excéntrico tiene gran aplicación en deportes en los que se realizan gestos con gran componente excéntrico (paradas en seco, cambios de dirección y ritmo, etc...). Por este motivo, en la planificación del entrenamiento para

este tipo de deportes (fútbol, baloncesto, balonmano, etc...) se deberían introducir sesiones de trabajo excéntrico, que además de los mencionados efectos sobre la fuerza e hipertrofia muscular, posee el efecto protector frente al daño que se provocan en las situaciones de competición²⁸.

Efecto sobre los tendones.

En los efectos de los ejercicios excéntricos en los tendones a largo plazo se incluyen la síntesis de colágeno, modificaciones estructurales, el efecto analgésico y la interrupción del flujo sanguíneo capilar³³⁻³⁵.

La literatura científica señala que durante cada serie de ejercicio excéntrico se produce una interrupción de forma temporal en el flujo sanguíneo de los neovasos del tendón, sin cambios en la saturación de oxígeno de este, llegando incluso a una reducción del 45% en el flujo anormal de sangre capilar paratendinosa. Esto conlleva una disminución del dolor en los pacientes con tendinopatía, ya que en esta patología, el dolor se origina debido al crecimiento vasculo-neural que se produce desde el paratendón hasta el propio tendón^{18,35,36}. Además se ha demostrado que la dorsiflexión de tobillo limita el flujo sanguíneo en los neovasos, y dado que un protocolo de ejercicios excéntricos para la tendinopatía aquilea puede conllevar más de 15000 repeticiones tras 12 semanas, el éxito de este programa para la reducción del dolor puede deberse a esta interrupción repetida del flujo sanguíneo³⁷. Por otro lado, el ejercicio excéntrico realizado regularmente, disminuye el dolor gracias a la desensibilización de las vías de transmisión periféricas, y al aumento de la resistencia tendinosa, lo que se traduce en una reducción del proceso inflamatorio^{18,37}.

Recientemente, la evidencia in vivo sugiere que el estímulo mecánico durante la carga excéntrica sobre un tendón es diferente a la carga concéntrica, no en términos de magnitud de fuerza, sino en términos de la frecuencia de las fluctuaciones de la fuerza. El patrón repetitivo de carga y descarga con sus fluctuaciones de fuerza que se produce durante el ejercicio excéntrico, puede ser que tenga un papel determinante en la estimulación sobre la remodelación exitosa del tendón, ya que proporciona un estímulo mecánico de forma constante³⁵.

Además, un programa de ejercicios excéntricos durante varias semanas produce un aumento de la síntesis de colágeno y de la concentración de colágeno peritendinoso tipo I en tendones dañados, disminuyendo así los niveles de dolor y facilitando la remodelación del tendón. Este aumento en la síntesis de colágeno alcanza su máximo a las 24h posteriores al ejercicio y disminuye aproximadamente a las 72h^{37,38}.

5.4 EJERCICIO EXCÉNTRICO EN PATOLOGÍA MUSCULOESQUELÉTICA.

Gracias a los múltiples efectos beneficiosos que genera sobre el sistema musculoesquelético, el ejercicio excéntrico se utiliza en fisioterapia para el manejo de varias patologías, en las que la literatura científica destaca: Tratamiento de tendinopatías, tratamiento y prevención de

distensiones musculares (musculatura isquiotibial principalmente), y en la fisioterapia tras la ruptura del ligamento cruzado anterior^{27,39}. Aunque las lesiones por sobreuso y traumatismos, pueden afectar a todo el sistema musculoesquelético, con mayor frecuencia ocasionan daño en los tendones. La tendinopatía es una patología muy común relacionada con el trabajo y el deporte y una de las principales causas de discapacidad que no sólo afecta a los atletas, sino que también ocasiona daño en la población sedentaria³⁹. Por este motivo, este apartado de mi trabajo se enfocará al tratamiento de las tendinopatías mediante la utilización del ejercicio excéntrico.

5.4.1 Ejercicio excéntrico en tendinopatía.

La fisioterapia con ejercicios excéntricos ha demostrado tener una gran eficacia en el tratamiento de numerosas tendinopatías; Aquilea, rotuliana, del supraespinoso y del tendón común en el epicóndilo ^{27,35,39}. El entrenamiento excéntrico, como una opción de tratamiento para la tendinopatía, fue propuesto por primera vez por Stanish y Curwin en 1984; su libro presenta un programa de tratamiento para la tendinitis rotuliana basado en:

Calentamiento previo general de todo el cuerpo, seguido por estiramientos estáticos de cuádriceps e isquiotibiales. El protocolo principal comienza con movimientos de sentadillas, enfocados sobre todo en la fase de desaceleración rápida que se produce entre las fases de descenso y subida. Durante los dos primeros días el movimiento se realizó de forma lenta y sin resistencia adicional; tras estos, se producía un aumento de la velocidad de ejecución hasta el séptimo día. A partir de la primera semana se comenzó a aumentar la carga progresivamente mediante pesos. Los sujetos realizaban 3 series de 10 repeticiones una vez al día, que se reducían después de la sexta semana a 3 series de 10 repeticiones, tres veces por semana. Cada sesión de ejercicio finalizaba con los mismos estiramientos estáticos que en la fase de calentamiento, además de utilizar hielo en el tendón rotuliano durante 5 minutos después del programa^{37,40}.

El interés en la investigación del ejercicio excéntrico como opción de tratamiento fue muy limitado hasta que Alfredson publicó su trabajo sobre la tendinopatía de Aquiles en 1998. Su modelo de tratamiento mostraba algunas diferencias con el modelo de Stanis y Curwin, principalmente el ejercicio excéntrico fue definido como un movimiento lento, el tratamiento progresaba aumentando la carga en lugar de la velocidad (a través de mochilas con pesos), y los pacientes fueron instruidos para continuar con los ejercicios pese a la aparición de dolor, siempre y cuando este no fuese incapacitante. Los ejercicios excéntricos se realizaron de dos formas, con la rodilla en extensión y, para mayor activación del sóleo, con la rodilla flexionada. A raíz de esto, los primeros estudios que valoraron el efecto del entrenamiento excéntrico en la tendinopatía Aquilea mostraron resultados muy prometedores, ya que muchos pacientes crónicos resolvieron su dolor^{37,41}.

Desde entonces, el programa de ejercicio excéntrico se ha convertido en el enfoque conservador más eficaz para el tratamiento de la tendinopatía, sobre todo para la del tendón de Aquiles y el tendón rotuliano. Sin embargo, la adherencia a los protocolos de ejercicio requiere pacientes altamente motivados, y esto no siempre es posible en situaciones clínicas fuera de las pruebas y ensayos, y más aún en población sedentaria. Si los programas pudiesen hacerse igual de efectivos pero más rápidos o realizados con menor frecuencia, podría mejorar la adherencia de los pacientes y también la eficacia terapéutica. No se ha establecido un protocolo realmente óptimo para el entrenamiento excéntrico, de hecho existen preguntas importantes, como qué tan rápido deben realizarse los ejercicios así como la progresión de los mismos, que continúan sin respuesta. En cuanto a su efectividad en la tendinopatía, cada vez se ha demostrado más que la ubicación específica de la patología dentro del propio tendón guarda relación con la eficacia del ejercicio excéntrico. Además, la efectividad de esta estrategia de tratamiento es menor cuando se aplica como monoterapia, que como parte del programa de fisioterapia junto con los estiramientos y la terapia manual³³⁻³⁵.

Las elevadas tensiones musculares que se generan, unido al menor coste energético en comparación con el ejercicio concéntrico e isométrico, convierten al ejercicio excéntrico en un método idóneo para trabajar fuerza en pacientes con estas patologías²⁷. En fisioterapia, el ejercicio excéntrico isocinético parece ser el más apropiado, ya que además de poder estandarizar y determinar todos los parámetros de la contracción a las características de la lesión específica, este tipo de ejercicio ocasiona menor daño muscular¹⁸.

El desarrollo de un plan de fisioterapia para cualquier sujeto con tendinopatía conlleva un razonamiento clínico, con referencia al diagnóstico y las capacidades funcionales de la persona, así como posibles comorbilidades. A la hora de estructurar el programa, es importante, encontrar un correcto enfoque que plantee la reeducación de la función muscular, en vez de considerar al tendón como una unidad aislada. Si bien el estímulo temprano del tendón normalmente se enfoca a la activación del músculo mediante ejercicios isométricos, la mayor parte de los programas recomiendan realizar una progresión con mayores cargas guiadas por la sintomatología del paciente, ajustando la carga del tendón a través de ejercicios excéntricos³⁴.

Planificación del entrenamiento excéntrico en tendinopatías.

Se debe tener en cuenta una serie de aspectos fundamentales a la hora de elaborar un programa con ejercicios excéntricos, la fisioterapia varía dependiendo del lugar del tendón en el que se encuentre la patología, ya que el programa de excéntricos no reduce el dolor y mejora la función de la misma forma en las diferentes formas de tendinopatía, los resultados dependen de si está afectada la porción media del tendón o la inserción de este. En concreto, en tendinopatía Aquilea la mayoría de las investigaciones muestran un resultado favorable tras ejercicios excéntricos cuando la lesión se sitúa en la porción media del tendón, frente a los malos resultados cuando esta se sitúa a nivel insercional^{36,42}. En tendinopatía rotuliana, el

programa de ejercicios excéntricos presenta resultados positivos cuando la tendinopatía afecta al polo inferior de la rótula, sin embargo, la efectividad del trabajo excéntrico en otras regiones de tendinopatía rotuliana aún no se han investigado. Por otro lado, también se debe considerar la etapa en la que se encuentre la tendinopatía, si es una tendinopatía reactiva, en fase de reparación, o una tendinopatía degenerativa, aunque el entrenamiento con carga es el tratamiento estándar que se debe realizar en todas las etapas, de hecho un manejo temprano en un tendón reactivo mediante trabajo en carga, puede limitar la progresión de su patología³⁴.

Los ejercicios pueden realizarse bajo supervisión de un fisioterapeuta o en el hogar sin la supervisión de este; pero en estos últimos, los pacientes no suelen cumplir con el régimen establecido, por lo que para obtener mejores resultados, se debe realizar el programa de ejercicios en un entorno clínico bajo supervisión, ya que así se logra un mayor cumplimiento del paciente^{33,34}. Para realizar un correcto programa de tratamiento fisioterápico mediante ejercicios excéntricos se deben considerar los siguientes factores:

Calentamiento previo.

Se debe efectuar un calentamiento breve antes de la sesión, para asegurar una situación óptima de las estructuras músculo-tendinosas y aclimatar al sistema cardio-respiratorio, ya que gracias al aumento del riego sanguíneo, se mejora el intercambio metabólico, la transmisión del impulso nervioso, las capacidades elásticas y se reduce la viscosidad muscular. Se debe comenzar con ejercicios generales, como trote o bicicleta, generando así calor en las estructuras corporales^{12,28,41}.

Carga de entrenamiento.

El componente de la carga en el programa de fisioterapia debe manejarse acorde con la naturaleza, la intensidad y la velocidad de las fuerzas aplicadas a la unidad músculo-tendón, con el propósito de alcanzar los objetivos sin causar una exacerbación del dolor³⁴. La intensidad de la carga es un factor muy importante que hay que modificar desde el inicio, se deben eliminar los picos de intensidad (sprints, saltos, cambios de dirección), sobre todo durante las primeras sesiones, debido a la elevada capacidad de producir daño muscular^{28,34}. Los resultados son peores cuando la carga no se aumenta conforme progresa el programa de entrenamiento. Sin embargo, es muy difícil estandarizar una tasa de aumento de la carga durante el período de tratamiento, aunque si el ejercicio excéntrico puede realizarse sin molestias o dolor, la carga debería incrementarse progresivamente mediante pesos³³. De esta forma, en la que se aumenta el ejercicio gradualmente, tanto sujetos jóvenes como mayores pueden adaptarse al ejercicio excéntrico de alta intensidad reduciendo el daño muscular, consiguiendo una mejora de la hipertrofia y de fuerza²².

Volumen de entrenamiento.

En cuanto al volumen de entrenamiento, la forma en la que el tendón responde al volumen de entrenamiento y los períodos de descanso indica si la cantidad de carga está dentro de lo que el tendón puede soportar y manejar con seguridad. Durante las primeras fases de la rehabilitación, los ejercicios con cargas altas no deben repetirse en menos de 48 horas, puesto que las primeras sesiones de ejercicios casi siempre provocan dolor, más en individuos no familiarizados con el ejercicio³⁴. De hecho, según la revisión de Isner-Horobeti et al²², parece importante respetar el período de recuperación entre las sesiones de ejercicio excéntrico, ya que podría necesitarse más de 48 horas para prevenir de forma eficaz la aparición de daño muscular repetitivo, sobre todo en las primeras sesiones. A partir de este período, el entrenamiento puede adaptarse según la escala numérica del dolor observada al día siguiente: si la escala aumenta, deben mantenerse 72 horas de descanso entre los entrenamientos. Si la escala no aumenta, deberían realizarse descansos de 48 horas entre los entrenamientos, pero si la escala disminuye, puede aumentarse la frecuencia o la intensidad de los ejercicios³⁴.

Velocidad de las contracciones.

Para permitir la correcta cicatrización del tejido y prevenir la posibilidad de una nueva lesión, los ejercicios deben comenzarse a baja velocidad, ya que esta no supera los límites elásticos del tendón y genera menos calor perjudicial para este. Sin embargo, parece difícil definir la lentitud de las contracciones excéntricas, ya que los pacientes realizan los ejercicios excéntricos lentamente para evitar el dolor, pese a estar advertidos de este³³. A partir de las primeras sesiones, la velocidad de los ejercicios debe aumentarse de forma progresiva en cada sesión de fisioterapia^{28,37}.

Frecuencia de entrenamiento.

Respecto a la frecuencia de entrenamiento, es el valor más flexible durante el programa, ya que puede usarse para adaptar la carga y la recuperación, es decir, variar y controlar las horas de descanso entre entrenamientos y series en función de la carga y de la sintomatología. Se recomiendan tres series de 15 repeticiones, dos veces al día^{33,34}. En base a la investigación, según Murtaugh et al³⁷, el programa de ejercicios excéntricos para la tendinopatía dolorosa debe ir dirigido al área afectada, con 3 series de 15 repeticiones una o dos veces al día durante al menos 12 semanas.

Descanso entre series.

El descanso depende de los objetivos a alcanzar y de la intensidad del entrenamiento. Si el entrenamiento se realiza con cargas submáximas, la mayoría de los estudios utilizan 2 minutos de descanso entre serie y serie. Por otro lado, si se utilizan cargas máximas, las pausas serán de mayor duración ya que se trata de series que requieren gran exigencia y concentración²⁸.

5.5 EJERCICIOS EXCÉNTRICOS. PROPUESTA DE TRATAMIENTO.

En base a los resultados obtenidos, se plantea un programa de tratamiento mediante ejercicios excéntricos para un paciente con tendinopatía aquilea no insercional:

5.5.1 Consideraciones.

Es fundamental que el tendón adquiera una adecuada viscoelasticidad y extensibilidad, además de asegurar una reducción en la inflamación de la vaina tendinosa. Por ello, antes de introducir el protocolo de ejercicios excéntricos en el programa de fisioterapia, se debe acondicionar la estructura tendinosa, ya sea mediante terapia manual del propio tendón, estiramientos, movilizaciones articulares, crioterapia, etc...^{33,41} Para la realización del protocolo, el fisioterapeuta deberá instruir al paciente sobre cómo realizar los ejercicios excéntricos, además de supervisar la ejecución de estos para posibles correcciones así como cualquier tipo de modificación. El paciente a su vez, ha de ser advertido de que puede experimentar dolor durante la realización de los ejercicios, pero que tiene que mantener la ejecución de los mismos salvo que el dolor se volviese incapacitante.

5.5.2 Programa de ejercicios excéntricos.

El programa de ejercicios que se propone se debe realizar durante 12 semanas, 4 días a la semana (3 de ellos bajo supervisión del fisioterapeuta, 1 de ellos sin supervisión). Las sesiones se llevan a cabo dos veces al día. Cada sesión consta de 3 series que incluyen 15 repeticiones, con 2 minutos de descansos entre cada serie. Al finalizar cada sesión de ejercicios, el paciente procederá a realizar estiramientos de la musculatura del tríceps sural, con la rodilla en extensión para los gemelos, y en flexión para el sóleo, así como aplicarse 10 minutos de hielo en la zona afectada.

El ejercicio excéntrico consiste en:

El paciente, en posición vertical, se sitúa en apoyo bipodal, sobre un escalón o banco. Cargando todo su peso corporal sobre la parte anterior del pie, se parte desde una posición de flexión plantar de tobillo ("de puntillas") asistido por la pierna no afecta (Figura 2). Desde esa posición, con el miembro afecto se realiza la bajada lentamente en fase excéntrica hasta que el talón se sitúe por debajo del antepié en flexión dorsal. Una vez que se produce la fase excéntrica, la subida se lleva a cabo en fase concéntrica volviendo a la posición de inicio a través de la pierna no lesionada. Se efectúan dos tipos de descenso del peso del cuerpo asegurando una correcta contracción excéntrica, con la pierna lesionada en extensión completa (Figura 3), y para una mayor activación del sóleo, con la pierna lesionada en flexión de rodilla (Figura 4).

Durante la primera semana, para no someter a demasiado estrés y tensión al tendón, la bajada en fase excéntrica se ha de realizar de forma bilateral con ambas piernas en extensión (Figura 5), de esta forma se divide la carga del peso corporal. Además, de esta forma el paciente se

familiariza con la realización de los ejercicios. Para la progresión de la carga, se tendrán en cuenta la escala numérica del dolor previa al inicio de cada sesión de entrenamiento, si esta no aumenta, se procederá al aumento de carga, ya sea mediante el propio peso corporal o agregando pesos a través de una mochila (Figura 6). Si por el contrario el dolor aumenta, la carga no se incrementará de ningún modo. Puesto que la literatura científica no ha determinado una tasa de aumento de la carga, siguiendo el ejemplo de Rompe et al³⁸, se procederá a un aumento de 5kg de peso, y si el paciente no experimentara ningún dolor, se continuará agregando peso en múltiplos de 5kg. En cuanto a la velocidad de los ejercicios, esta se deberá ir aumentando de forma progresiva conforme avance el programa de tratamiento, siempre y cuando se esté ejecutando de forma adecuada el ejercicio.

Para asegurarse que los ejercicios se ejecutarán de forma correcta cuando el paciente los realiza sin supervisión, este deberá reproducirlos de la misma forma en la sesión de fisioterapia, para que el fisioterapeuta pueda comprobar que los ejecuta de forma correcta, o por el contrario, para que se puedan corregir o modificar fallos posturales o del propio ejercicio. Las sesiones siempre se realizarán cada 48 horas (excepto la sesión no supervisada que se realiza a las 24 horas). No obstante, si el paciente refiriese dolor intenso (correspondiente al número 7 o superior en la escala numérica del dolor), se realizará un descanso de 72 horas.

Progresión del programa.

1^{er} mes:

- 1ª semana: Con apoyo bipodal se realiza el descenso excéntrico a velocidad lenta.
- 2-3ª semanas: Se realiza el descenso con apoyo monopodal sobre la pierna afecta a velocidad lenta y progresando a velocidad moderada.
- 4ª semana: Descenso con apoyo monopodal sobre la pierna afecta a velocidad moderada incrementando 5kg la carga mediante una mochila con peso.

2ºmes:

- 1ª semana: Descenso con apoyo monopodal sobre la pierna afecta a velocidad moderada con los 5kg de carga adicionales.
- 2ª semana: Descenso con apoyo monopodal sobre la pierna afecta a velocidad rápida con los 5kg de carga adicionales.
- 3-4ª semanas: Descenso con apoyo monopodal sobre la pierna afecta a velocidad moderada añadiendo otros 5kg de peso (10kg adicionales en total).

3^{er} mes:

- 1ª semana: Descenso con apoyo monopodal sobre la pierna afecta a velocidad rápida con los 10kg de peso adicionales.
- 2-3ª semana: Descenso con apoyo monopodal sobre la pierna afecta a velocidad moderada añadiendo otros 2,5kg de peso (12,5kg adicionales en total).
- 4ª semana: Descenso con apoyo monopodal sobre la pierna afecta a velocidad rápida con los 12,5kg de carga adicionales.

5.6 CONCLUSIÓN

Numerosos estudios demuestran que el ejercicio excéntrico es un tratamiento conservador de gran utilidad en diversas patologías del sistema musculoesquelético, ya que presenta grandes ventajas en comparación a las técnicas de fortalecimiento convencional en las que se realizan ejercicios mediante contracciones concéntricas e isométricas. Entre estas ventajas, se destacan las elevadas sollicitaciones que se producen en la unidad musculo-tendón desarrollando mayor ganancia de fuerza e hipertrofia muscular, lo que genera a su vez un efecto protector frente al daño muscular conforme se progresa en el programa de ejercicios. Todo ello, unido a su bajo coste energético, convierte a este tipo de ejercicio en una estrategia de tratamiento realmente eficaz en fisioterapia.

Aunque resulta ser un enfoque prometedor, los estudios sobre los ejercicios excéntricos deben profundizarse más, ya que varias áreas relacionadas con la fisioterapia merecen especial atención, incluidos los efectos implicados en las respuestas musculares y nerviosas, así como la adecuada individualización y progresión de los protocolos de ejercicios para pacientes o atletas.

6. BIBLIOGRAFÍA:

1. Woolf AD, Erwin J, March L. The need to address the burden of musculoskeletal conditions. *Best Pract Res Clin Rheumatol* [Internet]. 2012 Abr [citado 15 Feb 2018]; 26(2):183–224. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22794094>
2. Estrategia en enfermedades reumáticas y musculoesqueléticas del Sistema Nacional de Salud. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Madrid. 2013.
3. Paz Lourido B. Epidemiología y programas de prevención de las enfermedades del sistema musculoesquelético. En: Seco J, Aguilar M, Amorim R, Aranzana Y, Casares M, Casuso H, et al. *Fisioterapia en Especialidades Clínicas*. Vol 2. Madrid: ed Médica panamericana; 2015. p.91-105.
4. Bevan S. Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Pract Res Clin Rheumatol* [Internet]. 2015 Jun [citado 23 Feb 2018]; 29(3):1–18. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26612235>
5. Costa BR, Vieira ER, da Costa BR, Vieira ER. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders : A systematic review of recent longitudinal studies. *Am J Ind Med* [Internet]. 2010 Mar [citado 23 Feb 2018]; 53(3):285–323. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19753591>
6. Holden MA, Haywood KL, Potia TA, Gee M, McLean S. Recommendations for exercise adherence measures in musculoskeletal settings: A systematic review and consensus meeting (protocol). *Syst Rev* [Internet]. 2014 Feb [citado 26 Feb 2018]; 3(1):1–6. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24512976>
7. McLean S, Holden MA, Potia T, Gee M, Mallett R, Bhanbhro S, et al. Quality and acceptability of measures of exercise adherence in musculoskeletal settings: A systematic review. *Rheumatol (United Kingdom)* [Internet]. 2017 Mar [citado 28 Feb 2018]; 56(3):426–38. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28013200>
8. Recuerdo morfofuncional del sistema musculoesquelético. En: Seco J, Abecia LC, Aguilar M, Alonso A, Asumendi A, Azana A, et al. *Afecciones Médicoquirúrgicas para Fisioterapeutas*. Vol 3. Madrid: ed Médica panamericana; 2016. p. 3-16.
9. Córdova Martínez A. Sistema muscular. En: Córdova Martínez A. *Fisiología Deportiva*. Vol 1. Madrid: ed. Síntesis; 2013. p.72-89.
10. Exeter D, Connell DA. Skeletal muscle: Functional anatomy and pathophysiology. *Semin Musculoskelet Radiol* [Internet]. 2010 Jun [citado 28 Feb 2018]; 14(2):97–105. Disponible

en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20486021>

11. Wang JH-C, Guo Q, Li B. Tendon biomechanics and mechanobiology- a mini- review of Basic Concepts and Recent Advancements. J Hand Ther [Internet]. 2012 [citado 2 Mar 2018] ;25(2):133–141. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21925835>
12. Jurado Bueno A, Medina Porqueres I. Tendón. Valoración y tratamiento en Fisioterapia. 2008.Vol 1. Badalona: ed Paidotribo; 2008.
13. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. Sport Med [Internet]. 2017 Abr [citado 26 Feb 2018];47(4):663–675. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27638040>
14. Lorenz T, Campello M. Biomecánica del músculo esquelético. En: Nordin M, H.Frankel V. Bases biomecánicas del SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO. Vol 4. España: ed Lippincott Williams & Wilkins; 2013. p.150-178.
15. Frontera WR, Ochala J. Skeletal Muscle: A Brief Review of Structure and Function. Calcif Tissue Int [Internet]. 2015 Mar [citado 2 Mar 2018];96(3):183–195. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25294644>
16. Hessel AL, Lindstedt SL, Nishikawa KC. Physiological mechanisms of eccentric contraction and its applications: A role for the giant titin protein. Front Physiol [Internet]. 2017 Feb [citado 4 Mar 2018];8:1–14. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28232805>
17. Guilhem G, Cornu C, Guével A. Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. Ann Phys Rehabil Med [Internet]. 2010 Jun [citado 18 Feb 2018];53(5):319–41. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20542752>
18. Macías-Hernández SI, Pérez-Ramírez LE. Fortalecimiento excéntrico en tendinopatías del manguito de los rotadores asociadas a pinzamiento subacromial. Evidencia actual. Cir y Cir [Internet]. 2015 Sept [citado 4 Mar 2018];83(1):74–80. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25982614>
19. Vogt M, Hoppeler HH. Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. J Appl Physiol [Internet]. 2014 Jun [citado 4 Mar 2018];116(11):1446–1154. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24505103>

20. Hedayatpour N, Falla D. Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training. Biomed Res Int [Internet]. 2015 Oct [citado 6 Mar 2018];2015:1–7. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26543850>
21. Ejercicios contra resistencia para la recuperación muscular. En: Kissenner C, Allen Colby L. Ejercicio Terapéutico Fundamentos y técnicas. Vol 5. Madrid: ed. Médica panamericana; 2010. p. 147-230.
22. Isner-Horobeti M-E, Dufour SP, Vautravers P, Geny B, Coudeyre E, Richard R. Eccentric Exercise Training: Modalities, Applications and Perspectives. Sport Med [Internet]. 2013 Jun [citado 9 Mar 2018];43(6):483–512. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23657934>
23. Duchateau J, Baudry S. Insights into the neural control of eccentric contractions. J Appl Physiol [Internet]. 2014 Jun [citado 9 Mar 2018];116(11):1418–1425. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23429873>
24. Franchi M V., Reeves ND, Narici M V. Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: Morphological, molecular, and metabolic adaptations. Front Physiol [Internet]. 2017 Jul [citado 11 Mar 2018];8:1–16. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28725197>
25. Hoppeler H. Moderate load eccentric exercise; A distinct novel training modality. Front Physiol [Internet]. 2016 Nov [citado 4 Mar 2018];7. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27899894>
26. Gluchowski A, Harris N, Dulson D, Cronin J. Chronic Eccentric Exercise and the Older Adult. Sport Med [Internet]. 2015 Oct [citado 11 Mar 2018];45(10):1413–30. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26271519>
27. Lorenz D, Reiman M. The role and implementation of eccentric training in athletic rehabilitation: tendinopathy, hamstring strains, and acl reconstruction. Int J Sports Phys Ther [Internet]. 2011 Mar [citado 11 Mar 2018];6(1):27–44. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21655455>
28. Garcia López. El Entrenamiento Excéntrico. Fundamentos y aplicaciones con población general y deportista. En: Jimenez Gutierrez A, Garatachea N, Izquierdo M, Forte D, Benito P, Nacleiro F, et al. Nuevas dimensiones en el entrenamiento de la fuerza: aplicación de nuevos métodos, recursos y tecnologías. Vol 1. Barcelona: ed INDE Publicaciones; 2008. P 75-102.
29. Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, et al. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. Br J Sports Med [Internet]. 2009 Ago

- [citado 13 Mar 2018]; 43(8):556–68. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18981046>
30. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. *Sport Med* [Internet]. 2017 May [citado 13 Mar 2018];47(5):917–41. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27647157>
31. Schoenfeld BJ, Ogborn D, Vigotsky A, Franchi M KJ. Hypertrophic Effects of Concentric vs. Eccentric Muscle Actions: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2017 Sept [citado 18 Mar 2018];31(9): 2599-2608. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28486337>
32. Lau WY, Blazevich AJ, Newton MJ, Wu SSX, Nosaka K. Reduced muscle lengthening during eccentric contractions as a mechanism underpinning the repeated-bout effect. *Am J Physiol - Regul Integr Comp Physiol* [Internet]. 2015 May [citado 20 Mar 2018];308(10):879–886. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25810385>
33. Dimitrios S. Exercise for tendinopathy. *World J Methodol* [Internet]. 2015 Jun [citado 26 Mar 2018];5(2):51. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26140271>
34. Mascaró A, Cos MÀ, Morral A, Roig A, Purdam C, Cook J. Load management in tendinopathy: Clinical progression for Achilles and patellar tendinopathy. *Apunt Med l'Esport* [Internet]. 2018 Feb [citado 23 Mar 2018];53(197):19–27. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1886658117300580>
35. Rees JD, Wolman RL, Wilson A. Eccentric exercises; why do they work, what are the problems and how can we improve them? *Br J Sports Med* [Internet]. 2009 Abr [citado 23 Mar 2018];43(4):242–6. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18981040>
36. Habets B, van Cingel REH. Eccentric exercise training in chronic mid-portion Achilles tendinopathy: A systematic review on different protocols. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2015 Feb [citado 26 Mar 2018];25(1):3–15. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24650048>
37. Murtaugh B, Ihm JM. Eccentric training for the treatment of tendinopathies. *Curr Sports Med Rep* [Internet]. 2013 May [citado 31 Mar 2018];12(3):175–82. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23669088>
38. Rompe JD, Furia J, Maffulli N. Eccentric loading versus eccentric loading plus shock-wave treatment for midportion achilles tendinopathy: A randomized controlled trial. *Am J Sports Med* [Internet]. 2009 Mar [citado 2 Abr 2018] ;37(3):463–70. Disponible en:

- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19088057>
39. Frizziero A, Trainito S, Oliva F, Nicoli Aldini N, Masiero S, Maffulli N. The role of eccentric exercise in sport injuries rehabilitation. Br Med Bull [Internet]. 2014 Mar[citado 5 Abr 2018];110(1):47–75. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24736013>
40. Reinking MF. Current Concepts in the Treatment of Patellar Tendinopathy. Int J Sports Phys Ther [Internet]. 2016 Dic [citado 5 Abr 2018];11(6):854–66. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27904789>
41. Medina D. Guía de práctica clínica de las tendinopatías: diagnóstico, tratamiento y prevención. Apunt Med l'Esport. 2012 Dic [citado 7 Abr 2018];47(176):143–68. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-apunts-medicina-l-esport-castellano--277-articulo-guia-practica-clinica-las-tendinopatias-X0213371712807047?referer=buscador>
42. Meyer A, Tumilty S, Baxter GD. Eccentric exercise protocols for chronic non-insertional Achilles tendinopathy: How much is enough? Scand J Med Sci Sport [Internet]. 2009 Oct [citado 9 Abr 2018];19(5):609–15. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19602185>

7. ANEXOS.

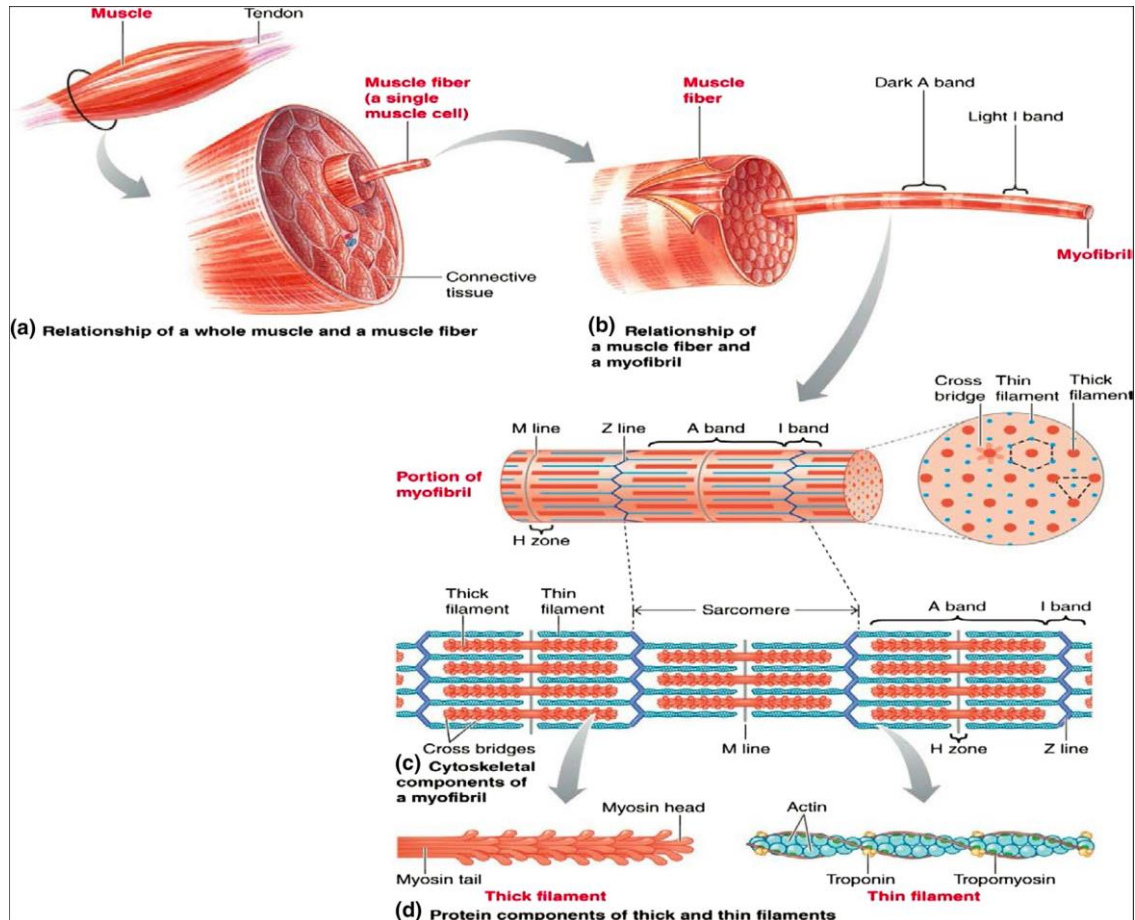


Figura 1: Estructura del músculo esquelético y del sarcómero. Fuente: *Frontera WR, Ochala J. Skeletal Muscle: A Brief Review of Structure and Function. Calcif Tissue Int [Internet]. 2015 Mar; 96(3):183–95¹⁵.*

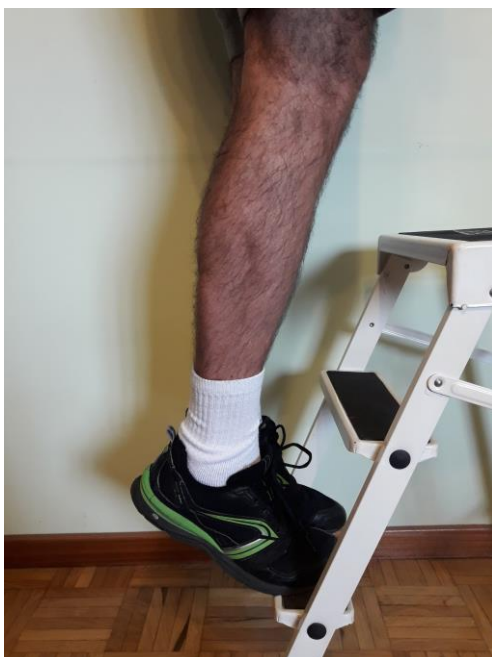


Figura 2: Posición de partida, flexión plantar en apoyo bipodal.



Figura 3: Descenso con apoyo monopodal de la pierna afectada en extensión.



Figura 4: Descenso con apoyo monopodal de la pierna afectada en flexión.

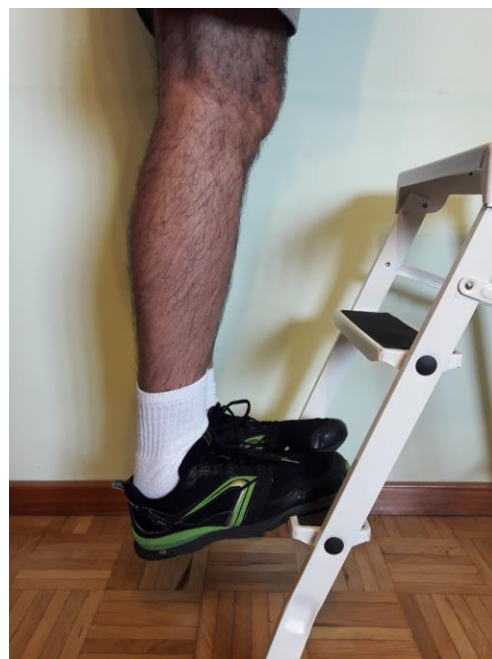


Figura 5: Descenso con apoyo bipodal en extensión.



Figura 6: Agregación de carga mediante una mochila con pesos.